

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE MONTPELLIER

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR - INGÉNIEUR

PAR

Hubert CHAMAYOU

1^{re} THÈSE : Contribution à l'étude de l'altération du mica muscovite
dans les schistes sériciteux

2^e THÈSE : Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 23 MARS 1965 devant la Commission d'examen

MM. P. CHATELAIN

Président

J. FALGUEIRETTES

J. REMY

}

Examineurs

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE MONTPELLIER

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR - INGÉNIEUR

PAR

Hubert CHAMAYOU



1^{re} THÈSE : Contribution à l'étude de l'altération du mica muscovite
dans les schistes sériciteux

2^e THÈSE : Propositions données par la Faculté.

Soutenues le..... devant la Commission d'examen

MM. P. CHATELAIN

Président

J. FALGUEIRETTES

J. REMY

}

Examineurs



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555624_0015

DOYEN : B. CHARLES

ASSESSEURS : R. JOUTY - J. FALGUEIRETTES

DOYEN HONORAIRE : P. MATHIAS

<u>PROFESSEURS HONORAIRES</u> :	R. JACQUES	E. TURRIERE	J. GRANIER
	M. CASTERAS	J. SOULA	
	E. CARRIERE	G. DENIZOT	

PROFESSEURS TITULAIRES :

M. MOUSSERON	Chimie
L. EMBERGER	Botanique
Ch. BOUHET	Physique
P. MATHIAS	Zoologie et Biologie Générale
J.P. ROIG	Physique
P. CHATELAIN	Minéralogie et Cristallographie
Mlle O. TUZET	Zoologie et Biologie Générale
Mlle G. CAUQUIL	Chimie
M. G. COUCHET	Mécanique Supérieure
M.J. SALVINIEN	Chimie-Physique
Mlle A.M. VERGNOUX	Physique
M. J. AVIAS	Géologie
M. P. VIELES	Chimie
M. J. RABINOVITCH	Physique (C.S.U.)
M.E. KAHANE	Chimie Biologique
M. J.J. MOREAU	Mécanique Rationnelle
M. B. CHARLES	Mathématiques Pures
M.J. MOTTE	Botanique
M. R. JOUTY	Physique
M. R. LEGENDRE	Zoologie
M.C. CHALIN	Physique
M. I. ASSENMACHER	Physiologie Animale
M. B. PISTOULET	Physique
M. Ch. ROUMIEU	Analyse Supérieure
M. A. POTIER	Chimie Minérale
M.R. LAFONT	Physique
M. R. JACQUIER	Chimie
M. J. FALGUEIRETTES	Minéralogie
Mme J. CHARLES	Mathématiques
M. P. CAILLON	Physique
M. J. ROUZAUD	Chimie
M. Ch. SAUVAGE	Botanique
M. P. DUMONTET	Physique
M. H. CHRISTOL	Chimie (E.N.S.C.)

PROFESSEURS SANS CHAIRE :

Mme M. DE POUQUES	Botanique (C.S.U.)
M. P. MURAUOUR	Géophysique Appliquée
Mme M. LAFON	Mathématiques
M. M. MATTAUER	Géologie
M. G. TOURNE	Chimie
M. L. EUZET	Zoologie (C.S.U.)
M. J. REMY	Géologie
Mme G. VERNET	Biologie Animale
M. H. ANDRILLAT	Astronomie
M. P. DEMANGEON	Géologie
M. A. BONNET	Botanique
M. J.P. LAFON	Mathématiques
M. C. DELOUPY	Physique
M. L. GRAMBAST	Botanique
M. A. SAVELLI	Physique

MAITRES DE CONFERENCES :

Mlle N. PIREYRE	Botanique
Mme Ch. DUBOUL-RAZAVET	Géologie (C.S.U.)
M. E. GROUBERT	Physique
Mme H. GUASTALLA	Biologie Physico-Chimique
M. A. STEINER	Psychophysiologie
M. G. LAMATY	Chimie
M. R. GAUFRES	Chimie
M. F. PROUST	Géologie
M. A. BASSOMPIERRE	Physique
M. A. MARTINEAU	Mathématiques
M. R. MARTY	Physiologie Animale
M. M. MAURIN	Chimie
M. J.J. SOULIER	Chimie (C.S.U.)
M. J. PARIS	Biologie Animale (C.S.U.)
M. P. MOLINO	Mathématiques (C.S.U.)
M. N. ROBY	Mathématiques (C.S.U.)

CHARGES D'ENSEIGNEMENT :

M. LEFRANC	Mathématiques
M. A. STURER	Mathématiques
Mlle A. BAILLETTE	Mathématiques (C.S.U.)
M. L. CECCHI	Physique (C.S.U.)

SECRETAIRE PRINCIPAL .:

M.E. SIAU

Avant de commencer l'exposé de cette étude, je me fais un devoir de remercier, tout particulièrement, tous ceux qui ont eu la bienveillance de s'intéresser à mon travail.

Monsieur le Professeur CHATELAIN tout d'abord qui m'a toujours accueilli avec cordialité au laboratoire de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Montpellier, m'a permis d'y travailler et a bien voulu accepter la présidence du Jury. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance.

Monsieur le Professeur FALGUEIRETTES qui m'a souvent aidé de ses conseils, particulièrement dans l'utilisation des appareils de rayons X. Je lui adresse ici tous mes remerciements.

Monsieur le Professeur REMY qui a eu l'amabilité, malgré ses nombreuses occupations, de me faire part de ses critiques qui m'ont été précieuses et d'accepter de faire partie du Jury. Je l'en remercie bien vivement.

Monsieur le Professeur SERVAT à qui je dois l'idée première de ce travail et qui, par la suite, n'a cessé de m'encourager et m'a apporté l'aide matérielle indispensable à la poursuite de ces recherches. Je lui exprime ici ma profonde gratitude.

Je remercie enfin toutes celles et tous ceux, qui, au cours de ce travail, m'ont aidé aussi bien au Laboratoire de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Montpellier qu'au Laboratoire de Géologie de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ALTERATION DU MICA MUSCOVITE
DANS LES SCHISTES SERICITEUX.

Dans sa mise au point sur l'altération des minéraux dans le sol, JACKSON écrit que l'altération du mica muscovite tient une place de première importance dans l'altération des minéraux du sol parce que :

- a - il est fréquent dans de nombreuses espèces de roches éruptives, métamorphiques et sédimentaires,
- b - il constitue une partie importante des sables et des limons du sol,
- c - il représente une source importante du potassium utilisable du sol.

Pour toutes ces raisons, l'altération, de la muscovite et de la séricite, a fait l'objet de nombreuses observations de terrains ainsi que d'expériences variées en laboratoire.

Certains observateurs de terrain, comme NICOLAS (1957-1958) ont étudié la transformation des schistes sur place mais dans des cas très particuliers. L'altération étudiée par NICOLAS était d'origine hydrothermale et le produit final était de la kaolinite.

D'autres auteurs, comme RICH (1958) ou ROLFE et JEFFRIES (1953), ont trouvé de l'illite dans les sols recouvrant des schistes et ils ont admis que ces minéraux argileux s'étaient formés sur place par altération météorique de la séricite des schistes.

Enfin, la plupart des observateurs de terrain étudient les minéraux des dépôts continentaux et dans le cas où ils ont pu déterminer avec précision l'origine des dépôts, ils peuvent établir une filiation entre les minéraux de la roche et l'argile du sédiment. C'est ainsi que LAFOND (1961), étudiant les argiles du Bassin de la

Vilaine, a constaté qu'elles étaient à dominante d'illite dans les zones de contact avec les schistes anciens.

Les observations de terrain ne pouvant démontrer avec sûreté la filiation entre mica et minéral argileux, de nombreuses recherches ont été effectuées en vue d'altérer en laboratoire des paillettes de mica dans des conditions variées.

L'un des plus anciens expérimentateurs est JOHNSTONE qui, en 1889, observe l'action de l'eau pure et de l'eau saturée en gaz carbonique sur des minéraux micacés. Mais, ne possédant pas à l'époque de moyens d'investigations suffisants, ses travaux ne nous renseignent pas sur les types d'argiles qui ont pu se former.

Il faut arriver à une période relativement récente pour que la technique des rayons X permette des identifications précises.

CAILLERE, HENIN et GUENNELON (1949) étudient la transformation du mica sous l'action de solutions salines, en particulier du chlorure de magnésium. Ils observent la formation de vermiculite.

HENIN, ROBICHET et DU ROUCHET (1953) comparent l'altération d'un schiste et celle d'un granite toujours sous l'action de solutions salines.

Ils trouvent ainsi que ces deux roches s'altèrent aussi facilement l'une que l'autre et que la nature des produits d'altération dépend de la composition de la solution saline.

Les essais précédents font intervenir des solutions salines, ce qui n'est pas le cas dans l'altération météorique.

DEKEYSER, VAN KEYMEULEN, HOEBEKE et VAN RISSSEN (1955) ont aussi étudié l'altération de la muscovite par lessivage avec de l'eau pure ou chargée de gaz carbonique et à basse température (20° C environ). Ces auteurs ont opéré sur un matériel finement broyé et ils n'ont constaté qu'une dissolution très lente des ions du minéral.

La méthode du lessivage est reprise par PEDRO (1958) appliquée à des roches éruptives : granite et basalte. Utilisant un extracteur de Soxhlet, il réalise un lessivage en circuit fermé à température assez élevée (70°C), mais il emploie comme matériel des fragments de roche, ce qui lui permet de se rapprocher des conditions naturelles.

GARRELS et HOWARD (1959) se plaçant d'un point de vue purement thermodynamique, ont étudié l'équilibre mica muscovite - kaolinite en expérimentant encore sur des matériaux finement broyés.

Il ressort de l'ensemble de ces travaux qu'aucune expérience d'altération de la muscovite n'a été faite dans des conditions proches de celles du milieu naturel, les auteurs étudiant l'altération de la muscovite prise isolément, alors que dans la nature, elle voisine avec d'autres minéraux qui peuvent influencer son évolution et d'autre part le matériel utilisé est généralement broyé, ce qui a pour effet d'augmenter son altérabilité.

Il nous a donc paru intéressant de reprendre l'étude de l'altération de la muscovite dans une roche de composition assez simple et très répandue à la surface de la terre. Nous avons donc choisi les schistes sériciteux et au lieu de les broyer, nous les avons fragmentés en morceaux d'un poids moyen d'une dizaine de grammes que nous avons placés dans un extracteur de Soxhlet selon la technique mise au point par PEDRO.

A - DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

I - LES ECHANTILLONS DE SCHISTE.

Nous avons utilisé, pour l'expérience d'altération, trois échantillons de schistes sériciteux de compositions assez voisines.

ECHANTILLON n° 1.

Cet échantillon a été prélevé dans les Cévennes méridionales, sur la route de St-JEAN-du-GARD à St-ETIENNE-VALLEE-FRANCAISE, à quelques kilomètres au nord de St-JEAN-du-GARD. La route recoupe, sur une très grande distance, la série compréhensive cévenole (Acadien, Postdamien, Ordovicien) qui, à cet endroit, est représentée par des schistes à faciès sériciteux.

ECHANTILLON n° 2.

L'échantillon n° 2 provient du Massif de l'Agly, près du village de BAIXAS. Les schistes Ordovicien y affleurent sur une assez grande étendue et présentent des faciès très variés. Ils correspondent à la "Série de Canaveilles" et aux "schistes de Jujols" décrits par CAVET (1959). L'échantillon prélevé est un schiste lustré, sériciteux légèrement violacé.

ECHANTILLON n° 3.

Cet échantillon a été prélevé en bordure de la route qui va de LAMALOU-les-BAINS au COL de la PIERRE-PLANTEE dans le Massif du CAROUX, à environ 1 kilomètre de la sortie de LAMALOU. La route traverse les schistes sériciteux antécambriens de la zone axiale de la Montagne Noire. Près de LAMALOU, ces schistes sont très peu métamorphisés et ont un aspect lustré. C'est dans cette zone que nous avons prélevé le troisième échantillon.

Les trois échantillons précédents ont subi deux examens afin de déterminer leur composition minéralogique.

- un examen en plaque mince au microscope polarisant,
- un examen aux rayons X par la méthode des diagrammes de poudre de BEBYE - SCHEERER.

1° - Détermination microscopiques.

Nous avons appliqué la méthode de l'analyse modale à des plaques minces taillées dans chacun des échantillons, en ne distinguant que deux éléments : le quartz, d'une part, les minéraux micacés et impuretés, d'autre part.

Les schistes étant des roches litées, nous avons utilisé la méthode préconisée par ROUBAULT pour l'analyse modale dans ce cas particulier, c'est-à-dire que les lames minces ont été taillées normalement au plan du litage et orientées de telle façon que la trace de ce plan soit à 45 ° de la direction des traversées.

On a ainsi obtenu les résultats suivants :

	QUARTZ	MINERAUX MICACES
1 - Schiste des Cévennes	51 %	49 %
2 - Schiste de l'Agly	44 %	56 %
3 - Schiste de Lamalou	46 %	54 %

La dimension des minéraux qui constituent les roches est un des facteurs de la désagrégation de ces roches et par conséquent de la "mise en position" d'altération chimique des minéraux. Il nous a donc paru intéressant de déterminer les dimensions moyenne des minéraux dans chaque échantillon à l'aide d'un micromètre oculaire.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

1/ - Schiste des Cévennes.

Dans cet échantillon, les graviers de quartz et les paillettes de mica ont des dimensions sensiblement équivalentes.

La moyenne de cent mesures donne comme grosseur : 70 microns.

2/ - Schiste de l'Agly.

Quartz et mica ont des dimensions un peu différentes :

- 40 microns pour les grains de quartz,
- 50 microns pour les paillettes de mica.

3/ - Schiste de Lamalou.

Ici, aussi les tailles sont différentes :

- 60 microns pour le quartz,
- 80 microns pour le mica.

2° - Diagrammes de poudre.

Les déterminations optiques ne permettent pas de distinguer avec sûreté certains minéraux micacés entre eux. Dans le cas des schistes sériciteux, il est difficile de séparer dans les préparations la mucovite des hydromicas, en particulier la vermiculite.

Aussi, nous a-t-il semblé nécessaire d'analyser la partie mica-cée des schistes par les rayons X.

Pour cela, nous avons broyé des échantillons de schistes que nous avons ensuite tamisés avec un tamis à mailles de 50 microns. La partie tamisée est ainsi enrichie en mica, le broyage ayant réduit la dimension des paillettes de mica sans changer beaucoup la taille des grains de quartz.

Les diagrammes de poudre ont été obtenus par la méthode classique de BEBYE - SCHEERER.

Nous avons réalisé des plaquettes par mélange de poudre et de collodion, les particules n'étant pas orientés. Les plaquettes étaient montées au centre d'une chambre de DEBYE - SCHEERER de 48 cm de circonférence.

L'interprétation des diagrammes n'est, évidemment, pas aussi précise que si nous avions employé la méthode préconisée par LUCAS, CAMEZ et MILLOT (1959) qui demande trois diagrammes pour chaque échantillon, le premier sans traitement préalable, le deuxième après traitement au glycérol, le troisième après chauffage à 550°.

1/ - Schiste des Cévennes.

d Å	I	<u>QUARTZ</u>	<u>MUSCOVITE</u>	<u>VERMICULITE</u>
14,2	tf			+
9,79	f		+	
7,00	f			+
4,91	f		+	
4,45	F		+	
4,17	m	+		
3,75	f		+	
3,60	f			+
3,35	F	+	+	
3,18	F		+	
2,54	m		+	+
2,46	f		+	
2,23	f		+	+
2,10	m		+	+
1,98	f		+	
1,78	f		+	
1,52	f		+	

Le tableau précédent montre que dans les minéraux micacés, à côté de la muscovite, il existe un faible pourcentage de vermiculite.

2/ - Schiste de l'Agly.

d Å	I	QUARTZ	MUSCOVITE	VERMICULITE
14,2	f			+
10,0	f		+	
7,0	f			+
4,45	F		+	
4,21	m	+		
3,81	f		+	
3,69	f		+	
3,48	f		+	
3,29	F	+	+	
3,16	f		+	
2,95	f		+	
2,54	m		+	+
2,44	m		+	
2,32	f			+
2,24	f		+	
1,93	m		+	
1,79	f		+	
1,52	f		+	

Comme dans le cas précédent à la muscovite est associée un peu de vermiculite.

3/ - Schiste de Lamalou.

d Å	I	QUARTZ	MUSCOVITE	VERMICULITE
14,2	f			+
9,79	m		+	
7,0	f			+
4,45	F		+	
4,21	m	+		
3,82	f		+	
3,63	f		+	
3,43	f		+	
3,29	F	+	+	
2,94	f		+	
2,54	m		+	
2,46	m		+	
2,20	f			+
2,14	f		+	
2,10	f		+	+
1,79	f		+	
1,52	f		+	

Ici aussi une faible quantité de vermiculite est associée à la muscovite.

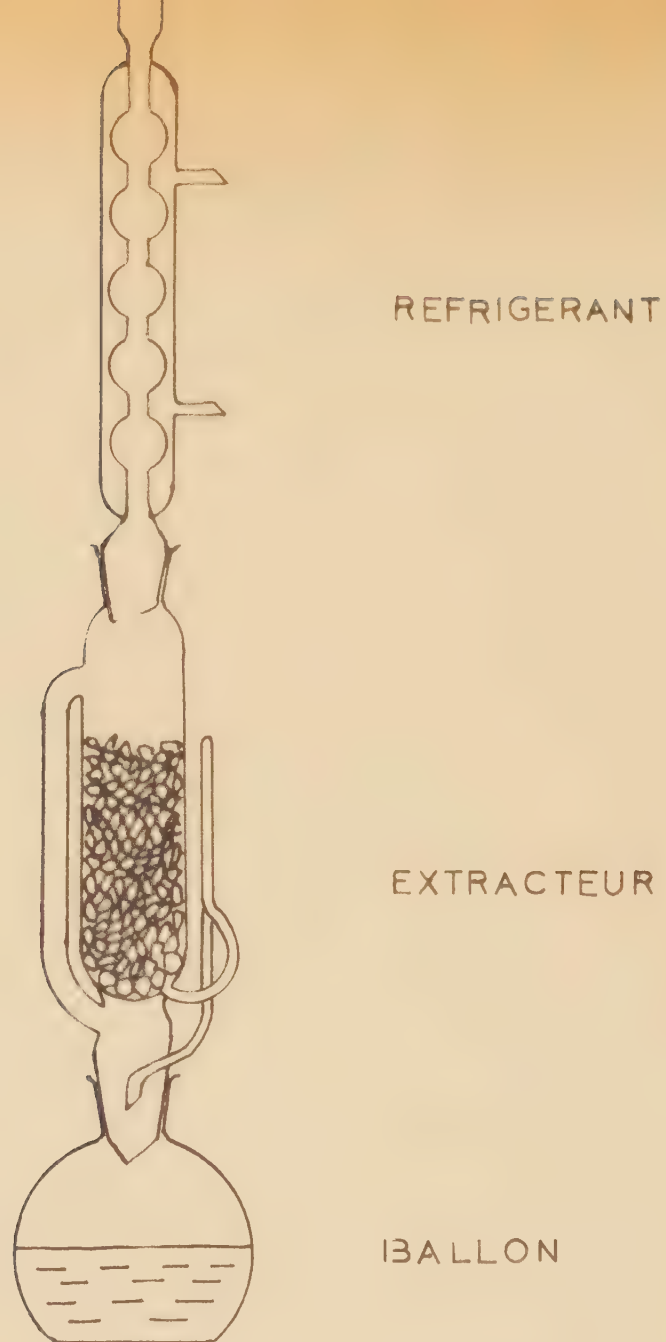


FIGURE 1

II - LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

Le dispositif utilisé est sensiblement le même que celui décrit par PEDRO (1958) avec lequel cet auteur a réalisé des altérations de granite et de basalte.

L'appareil de base est un simple extracteur de Soxhlet de grande capacité (figure 1). Les fragments de roche sont placés dans le tube extracteur jusqu'au niveau supérieur du siphon. Le ballon est rempli d'eau distillée et il est chauffé par un réchaud électrique.

L'eau évaporée se condense dans le réfrigérant et retombe goutte à goutte sur les fragments de schistes qui baignent peu à peu dans l'eau jusqu'à ce que le siphon s'amorce et vide le tube extracteur. Le cycle recommence ainsi autant de fois qu'on le désire, réalisant un lessivage continu des fragments de roche.

L'ensemble de l'appareillage comprenait deux batteries de trois extracteurs chacune.

- La première batterie était formée d'appareils à tubes extracteurs de 1 litre. Ils ont été rempli de fragments de schiste d'un poids moyen de 10 g.

Les poids des échantillons étaient les suivants :

- Extracteur n° 1 : Schiste des Cévennes 1270 g ,
- Extracteur n° 2 : Schiste Ordovicien de l'Agly 1210 g ,
- Extracteur n° 3 : Schiste Antécambrien de Lamalou-les-Bains 1100 g.

Ces appareils ont fonctionné en communication avec l'atmosphère extérieure. La température de l'eau dans les extracteurs était de 70° C.

La vitesse de circulation de l'eau distillée était en moyenne de 3,5 l par jour.

- La deuxième batterie était constituée par des appareils un peu plus petit, à tube extracteur de 0,5 litre. Ils contenaient les poids suivants des trois schistes précédents :

- Extracteur n° 4 : Schiste des Cévennes 730 g ,
- Extracteur n° 5 : Schiste Ordovicien de l'Agly 700 g ,
- Extracteur n° 6 : Schiste Antécambrien de Lamalou-les-Bains 650 g.

Ces trois derniers appareils étaient reliés par l'orifice de sortie de leur réfrigérant à un récipient contenant du gaz carbonique sous une pression moyenne de 1/50 d'atmosphère. Le lessivage des fragments de roche s'effectuait donc avec de l'eau ayant en solution du gaz carbonique. Nous avons réalisé cet essai afin de mettre en évidence une action possible du gaz carbonique sur l'altération des schistes, par comparaison avec l'essai à l'eau pure.

La température de l'eau dans les extracteurs de cette batterie est un peu plus élevée que dans les précédents : 75° C.

La vitesse de circulation de l'eau chargée de gaz carbonique est également un peu plus élevée : en moyenne 4,5 litre par jour.

La température de l'eau dans les ballons était évidemment de 100° C, les réchauds y maintenant une ébullition continue.

L'ensemble des deux batteries a été vidangée périodiquement. L'expérience d'altération ayant duré au total 287 jours, nous avons effectué 5 vidanges, les temps de fonctionnement entre chaque vidange étant les suivants :

- 1ère vidange au bout de	28 jours
- 2ème vidange au bout de	38 jours
- 3ème vidange au bout de	73 jours
- 4ème vidange au bout de	25 jours
- 5ème vidange au bout de	123 jours

A chaque vidange, le liquide du ballon est recueilli et on y mesure la concentration en ions potassium. D'autre part, les débris de schistes et les dépôts solides qui se forment sur les bords du ballon sont séparés, examinés au microscope et analysés aux rayons X.

Enfin, à l'occasion des vidanges on pouvait mesurer le pH de l'eau dans les extracteurs, en y prélevant l'eau qui restait au moment de l'arrêt des appareils.

Les valeurs moyennes du pH dans les extracteurs sont les suivantes :

	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6
pH	7,3	6,2	5	7,1	6,4	5,7

B - LES RESULTATS DES DETERMINATIONS ET DES OBSERVATIONS.

I - ANALYSE DU LIQUIDE DES BALLONS.

Le lessivage des fragments de roche par de l'eau pure a pour premier effet de mettre en solution des ions alcalins ou alcalino-terreux ainsi qu'un peu de silice.

L'ion alcalin qui présente le plus d'intérêt dans le cas présent est l'ion potassium qui lie entre eux les feuillets de muscovite. Il paraît donc important de connaître la quantité d'ions potassium arrachés au cours de l'expérience aux minéraux phylliteux.

Il était aussi intéressant de savoir quelle était la quantité de silice dissoute, les échantillons de roches contenant en moyenne 50 % de quartz.

C'est donc ces deux analyses que nous avons effectuées périodiquement à chaque arrêt des appareils, sur les lessivats récupérés dans les ballons.

1° - Quantités de potassium lessivé.

Le potassium a été dosé dans les lessivats par photométrie de flamme.

Les quantités totales exportées par les échantillons au cours de l'expérience sont les suivantes :

Echantillons	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6
Poids mg	99	109	228	77	56,5	123

Pour que les chiffres soient comparables entre eux, les poids des échantillons étant différents et les quantités d'eau de lessivage aussi nous avons rapporté les pertes en potassium au kg de roches pour un lessivage par 1 m³ d'eau. On a alors les résultats suivants :

Echantillons	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6
Poids mg	78	90	208	106	81	190

2° - Quantités de silice mises en solution.

La silice a été dosée sur les filtrats par colorimétrie au phosphomolybdate.

Les quantités totales de silice entraînées dans les ballons au cours de l'expérience sont les suivantes :

Echantillons	n° 1	n° 2	n 3	n° 4	n° 5	n° 6
Poids mg	47,5	26,5	31,2	38	27,5	30,5

Comme pour le potassum, les poids de silice ont été rapportées à 1 kg d'échantillon de roche et à un lessivage par 1 m³ d'eau.

On peut tout de suite constater en comparant les échantillons 1 à 4 - 2 à 5 et 3 à 6 que la légère concentration en gaz carbonique dans les derniers appareils ne modifie en rien la solubilité de la silice. Par contre, on note une décroissance des deux séries dans l'ordre :

1 - 2 - 2
et
4 - 6 - 5

de

ordre qui correspond à la décroissance du pourcentage/quartz dans les schistes :

n° 1 et 4 51 % de quartz

n° 3 et 6 46 % de quartz

n° 2 et 5 44 % de quartz

Il est probable, d'ailleurs qu'une partie de la silice mise en solution provienne de l'attaque du verre de l'appareillage par l'eau de lessivage. Nous avons constaté, en effet, l'existence de légères dépressions dans le verre des extracteurs aux points de contact des fragments de roche avec le tube.

II - OBSERVATION DES RESIDUS SOLIDES DES BALLONS.

1° - Poids des résidus.

A chaque vidange les particules solides en suspension dans l'eau des ballons et les dépôts adhérents aux parois des ballons ont

été récupérés et pesés. Les poids totaux sont les suivants :

Echantillons	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6
Poids en g	1,47	1,15	1,58	1,53	2,92	3,97

Ces résultats ramenés à 1 kg d'échantillon et pour un lessivage de 1 m³ deviennent :

Echantillons	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6
Poids en g	1,16	0,95	1,44	1,60	3,16	4,70

La comparaison des trois premiers résultats et des trois derniers semble indiquer que la présence de gaz carbonique dans l'eau de lessivage a au moins pour effet d'augmenter le délittement des morceaux de schiste.

2° - Examen des débris au microscope.

Les débris de schiste recueillis dans les ballons ont été montés entre lames et lamelles dans du baume de canada et examinés d'abord au microscope polarisant pour distinguer les débris du mica, des débris de quartz. Les particules de mica les plus intéressantes ont été ensuite observées en contraste, phase pour étudier le faciès de l'altération.

Afin de pouvoir se rendre compte de l'état d'altération des paillettes de mica, nous avons examiné parallèlement des paillettes non altérées obtenues par grattage de la surface de morceaux de schistes fraîchement clivés.

L'aspect des lamelles de mica non altérées est le suivant, en contraste de phase.

Schiste des Cévennes.

Grandes plages à surface plane, à bords nets. La surface est parcourue par des fractures rectilignes et les clivages sont visibles

par les gradins très nets des bords des lamelles.

Schiste de l'Agly.

Le mica apparaît sous forme de fragments très petits allongés et souvent groupés en rubans fibreux.

Schiste de Lamalou.

Le mica se présente sous forme de paillettes assez grandes, à surface légèrement ondulée à bords arrondis mais nets. On distingue de nombreuses fractures et des clivages tous très visibles en contraste de phase.

Par comparaison avec les minéraux frais, les particules récupérées dans les ballons présentent un faciès de désagrégation très net.

Echantillon n° 1.

Les lamelles se fragmentent en petits éléments qui se détachent du cristal principal. Ces petits éléments sont nombreux en bordure des clivages, le long des fractures. On observe de nombreuses cavités sur les bords des lamelles, qui leur donnent un aspect dentelé.

Echantillon n° 2.

Les fragments de mica, d'une taille moyenne, sont assez rares. Ils présentent, comme dans le cas précédent, des bords dentelés. Par contre, on observe une grande quantité de petits fragments provenant sans doute de la désagrégation des aiguilles de mica que l'on trouve dans la roche.

Echantillon n° 3.

Même aspect que dans l'échantillon n° 1. On observe une fragmentation importante sur les bords des clivages et le long des fractures.

Echantillon n° 4 et n° 5.

On ne trouve plus dans les débris de paillettes de mica de grande taille, mais uniquement des débris très fins. Les débris de quartz qui semblaient intacts dans les précédents échantillons montrent ici des cavités de dissolution.

Echantillon n° 6.

On constate toujours une fragmentation importante des lamelles en bordure des clivages, mais en plus, on note ici la présence de rhomboèdres de carbonates, vraisemblablement de néoformation.

Donc, d'une manière générale, l'attaque des feuillets micacés par l'eau a lieu par la tranche et pas du tout par les faces des feuillets.

Nous avons essayé de déterminer approximativement, la taille et l'épaisseur des fragments résultant de la désagrégation des feuillets de mica.

La mesure de la longueur et de la largeur, à l'aide d'un micromètre-objet, nous donne des dimensions moyennes comprises entre 5 et 10 μ .

De la mesure du retard entre Nicols croisés, nous avons déduit l'épaisseur qui est en moyenne de 2 μ .

La désagrégation des feuillets de mica donne donc des particules ayant des dimensions voisines de celles des particules d'argile, la limite supérieure de la taille des particules d'argile ayant été fixée expérimentalement à 2 μ pour le plus grand diamètre.

3° - Diagramme de poudre des résidus des ballons.

Les diagrammes de poudre des résidus ne présentent que quelques raies. Cela est peut-être dû au fait que les résidus cristallisés forment une faible proportion de l'ensemble, le reste étant amorphe ou peu organisé.

Nous avons obtenu les raies suivantes :

d Å	Quartz	Séricite	Illite
4,45		+	+
4,21	+		
3,33	+	+	+
{ 2,55		+	+
{ 2,52		+	+

L'interprétation de ce diagramme est assez difficile. Néanmoins, d'après la composition de la roche, le choix des minéraux possibles est limité : quartz, séricite et peut-être illite. Le fait que nous obtenions une raie assez large correspondant à des distances réticulaires variant de $2,52 \text{ \AA}$ à $2,55 \text{ \AA}$ semble toutefois indiquer qu'il existe à la fois un peu d'illite et de la séricite.

En effet, d'après BROWN, pour la muscovite, les diagrammes de poudre présentent deux raies distinctes :

- l'une correspondant à la distance réticulaire $2,56 \text{ \AA}$ et due à la réflexion de 2^{ème} ordre sur les plans (100);

- l'autre correspondant à la distance réticulaire $2,49 \text{ \AA}$ et due à la réflexion de 4^{ème} ordre sur les plans (001). Sur les diagrammes d'illite, la deuxième raie n'existe pas.

La raie assez large, que nous avons sur le diagramme, semblerait montrer que la réflexion de 4^{ème} ordre sur les plans (001) tend à disparaître sans doute par transformation d'une partie de la séricite en illite.

Echantillon n° 2.

Les diagrammes de poudre sont plus complets que pour l'échantillon précédent. On y distingue les raies de la séricite peut-être illitisée en partie, du quartz et aussi de la vermiculite.

$d \overset{\circ}{\text{\AA}}$	I	QUARTZ	MUSCOVITE	VERMICULITE
10,4	f			+
9,8	f		+	
7,1	f			+
4,41	F		+	
4,21	m	+		
3,84	f		+	
3,66	f		+	
3,33	F	+	+	
2,98	f		+	
2,88	f		+	+
2,78	f		+	
2,54 } 2,52 }	F		+	
2,44	m		+	
2,25	m		+	
2,10	m		+	+
1,79	f		+	
1,50	f		+	

Nous avons attribué la raie à $10 \overset{\circ}{\text{\AA}}$ à la vermiculite. Nous devrions normalement avoir une raie correspondant à une distance réticulaire de $14 \overset{\circ}{\text{\AA}}$. Cependant BARSHAD (1954) et WALKER & MILNE (1950) ont montré que les vermiculites placées dans un milieu riche en potassium avaient leurs feuillets qui se contractaient pour atteindre une épaisseur de $10,5 \overset{\circ}{\text{\AA}}$. WERVER (1958) a, d'ailleurs, mis en évidence le fait que les vermiculites dérivées des micas sont les plus sensibles à ce phénomène. On en a, d'ailleurs, tiré une méthode sûre pour reconnaître les vermiculites rapportée par Mlle CAILLERE et M. HENIN, et qui consiste à faire bouillir dans une solution concentrée de chlorure de potassium les phyllites à $14 \overset{\circ}{\text{\AA}}$ que l'on cherche à identifier. Si, après ce trai-

tement, la distance réticulaire principale passe de $14 \text{ \AA}$ à $10,5 \text{ \AA}$, c'est que l'on a affaire à une vermiculite.

Or, justement nos débris des ballon bouent constamment dans une eau riche en potassium. Il n'est donc pas étonnant que la distance réticulaire principale de la vermiculite soit de $10,4 \text{ \AA}$.

Les fragments de sérécite sont sans doute comme dans l'échantillon n° 1 et pour les mêmes raisons, légèrement illitisés, mais il n'y a pas expansion des feuillets, la distance réticulaire principale étant de $9,8 \text{ \AA}$.

Echantillon n° 3.

Les résidus du troisième ballon ont donné des diagrammes de poudre à nombreuses raies dont voici la liste.

d $\text{\AA}$	I	QUARTZ	SERICITE	VERMICULITE
10,25	f			+
7,0	f			+
5,0	f		+	
4,4	F		+	
4,21	f	+		
4,03	f		+	
3,82	m		+	
3,67	f		+	
3,43	f		+	
3,29	F	+		
3,18	f		+	
3,06	m		+	
2,96	f		+	
2,80	f		+	
2,67	f			+
2,52 } 2,55 }	F		+	
2,40	m		+	
2,34	f			+
2,09	m		+	+
1,94	f		+	
1,52	f		+	

Ces raies peuvent être attribuées au quartz, à la vermiculite et à la séricite, peut-être à l'illite. Cependant certaines remarques s'imposent.

On a tout d'abord une raie floue qui correspond à une équidistance de $10,25 \text{ \AA}$. On peut l'attribuer à la vermiculite. Par contre, on ne distingue pas de raie correspondant à une distance réticulaire de $9,8 \text{ \AA}$, équidistance principale de la séricite et de l'illite. Cependant les raies secondaires indiquent la présence de ces deux minéraux.

D'autre part, on note que la réflexion d'ordre 3 sur les plans (001) donne une distance réticulaire de $3,29 \text{ \AA}$ au lieu de $3,33 \text{ \AA}$. D'après WARSHAW, ce fait dénote une déficience du réseau de la muscovite en potassium. Nous aurions donc dans ces résidus un départ assez important d'ions potassium, ce qui nous amène à conclure que la séricite est fortement illitisée. Ceci serait, d'ailleurs, confirmé par la tendance à la disparition de la réflexion de 4^{ème} ordre sur les plans (001).

Echantillon n° 4.

Les résidus du 4^{ème} ballon présentent les raies suivantes :

d $\text{\AA}$	I	QUARTZ	SERICITE
9,8	f		+
4,41	F		+
4,21	m	+	
3,94	f		+
3,63	f		+
3,43	f		+
3,29	F	+	+
3,13	m		+
2,51 } 2,54 }	m		+
1,78	f		+

On ne décèle pas dans la série de raies attribuables à la vermiculite. Seuls le quartz et la séricite semblent présents.

On note cependant un affaiblissement de la réflexion de 4^{ème} ordre sur les plans (001) et une distance réticulaire inférieure à 3,33 Å pour la réflexion de 3^{ème} ordre sur ces mêmes plans.

Ces faits montrant une perte de potassium du réseau de la muscovite et un désordre de la structure, incitent à penser que la séricite de ces résidus évolue vers l'illite.

Echantillon n° 5.

Les raies du diagramme sont peu nombreuses, mais cependant caractéristiques du quartz, de la séricite et de l'illite. On a la série suivante :

d Å	I	QUARTZ	Séricite-Illite
4,47	F		+
4,21	m	+	
3,30	F	+	+
2,54	m		+
2,44	f		+
2,25	f		+

L'évolution de la séricite en illite est ici encore plus nette, la raie correspondant à l'équidistance 2,49 Å ayant disparu et la réflexion de 3^{ème} ordre sur les plans (001) donnant une équidistance inférieure à 3,33 Å.

Echantillon n° 6.

On a la série de raies suivante :

d Å	I	QUARTZ	Séricite - Illite
9,8	f		+
4,45	m		+
4,21	f	+	
3,43	f		+
3,29	F	+	+
3,16	m		+
2,80	f		+
2,54	m		+
2,40	f		+
1,78	f		+

Dans cet échantillon, comme dans le précédent, on identifie le quartz et la séricite qui montre une tendance évolutive vers l'illite.

III - OBSERVATION DE LA PELLICULE SUPERFICIELLE DES MORCEAUX DE SCHISTE DES EXTRACTEURS.

A la suite des travaux de Correns sur l'altération des roches, on admet qu'elle se produit uniquement dans la pellicule superficielle des roches et qu'elle se propage vers l'intérieur après l'élimination des produits altérés de la surface.

Il y aurait donc une "croûte d'altération" d'épaisseur constante tout autour des fragments de roches.

Pour nous rendre compte du phénomène, s'il existe, et de son importance, nous avons mesuré la surface totale des échantillons de schiste, puis nous avons gratté la pellicule superficielle des fragments de roche. La poudre obtenue a été examinée au microscope polarisant et analysée aux rayons X.

1° - Mesure de la surface spécifique des échantillons.

Nous avons évalué approximativement la surface totale d'un kilogramme d'échantillon de chaque type de schiste, mesurant la surface de trente fragments dans chaque cas et en la rapportant à 1 gramme de roche.

Pour mesurer la surface, les morceaux de roche ayant une forme polyédrique, nous avons reporté, sur du papier, les contours de chaque face et nous avons planimétré ces différentes surfaces. En opérant sur trente morceaux de tailles différentes, nous avons une moyenne assez représentative de l'échantillon total.

Les surfaces spécifiques des trois types de schiste sont les suivants :

- Schiste des Cévennes	:	2,2	cm ² /g
- Schiste des Albères	:	1,3	"
- Schiste de Lamalou	:	1,7	"

D'après ces données, la surface totale d'un kg d'échantillon est alors :

- Echantillons n° 1 et n° 4 : 0,22 m²
- Echantillons n° 2 et n° 5 : 0,13 "
- Echantillons n° 3 et n° 6 : 0,17 "

2° - Examen de la pellicule superficielle au microscope polarisant.

Echantillon n° 1.

On observe dans la préparation de nombreuses particules de quartz dont la taille varie entre 0,1 mm et 0,5 mm qui sont recouvertes par des fines particules de mica. Les particules de mica sont aussi disséminées tout autour des morceaux de quartz et quelquefois agglomérés en paquets.

Ces microcristaux de mica ont une taille variant entre 1 et 5 μ et ont quelquefois une biréfringence assez faible.

Examinées en contraste de phase, elles semblent avoir une épaisseur du même ordre de grandeur que leurs autres dimensions.

Echantillon n° 2.

Les particules micacées plus nombreuses par rapport au quartz, que dans l'échantillon précédent, recouvrent entièrement ce dernier. Elles ont la même taille que précédemment.

Echantillon n° 3.

Dans cet échantillon, les morceaux de quartz sont de petite taille, les plus gros atteignant 0,1 mm. Les particules micacées ont toujours de 1 à 5 μ se collent aux morceaux de quartz ou sont disséminées autour.

Echantillons n° 4, n° 5 et n° 6.

Ils présentent les mêmes aspects que leur homologues de la série précédente. Les échantillons 4 et 5 montrent des morceaux de quartz assez gros avec de fines particules de mica, tandis que dans l'échantillon n° 6, le quartz est représenté par des particules de dimensions plus faible, mais encore grande par rapport au mica.

3° - Diagrammes de poudre.

Echantillon n° 1.

Les diagrammes de poudre donnent la série de raies suivante :

$d \text{ \AA}$	I	SERICITE	ILLITE	VERMICULITE
10	m	+	+	
7	f			+
4,45	F	+	+	
3,84	f	+	+	
3,72	f	+		
3,29	F	+	+	
2,97	m	+		
2,55	F	+	+	+
2,45	f	+	+	
2,37	f	+	+	
2,11	f	+	+	

Bien que la plupart des raies doivent être attribuées à la sérécite, nous avons pensé qu'il s'y trouvait mélangé une faible proportion d'illite pour les raisons suivantes :

- la réflexion du 3^{ème} ordre sur les plans (001) donne une raie correspondant à une distance réticulaire inférieure à $3,33 \text{ \AA}$, ce qui indique une perte d'ions K^+ par les feuillets;
- la réflexion de 4^{ème} ordre sur les mêmes plans n'est pas visible.

Echantillon n° 2.

Nous avons obtenu les raies suivantes :

d Å	I	QUARTZ	ILLITE	SERICITE	VERMICULITE
10	f		+	+	
7	t f				+
4,45	F		+	+	
4,29	m	+	+		
3,84	f		+	+	
3,72	f			+	
3,34	t F	+	+	+	
3,20	t f			+	
2,97	t f			+	
2,55	F		+	+	+
2,45	m	+	+	+	
2,28	f	+			+
2,11	f		+	+	
1,82	f	+		+	+

La plupart des raies sont attribuables à la séricite, les autres étant caractéristiques du quartz et aussi de la vermiculite.

Il semble raisonnable d'admettre l'existence d'un peu d'illite, la réflexion d'ordre 4 sur les plans (001) ayant disparu.

Cependant, la perte d'ions K^+ serait faible, la réflexion d'ordre 3 sur ces mêmes plans donnant une distance réticulaire normale.

Echantillon n° 3.

Le diagramme de poudre présente les raies suivantes :

$d \text{ \AA}$	I	QUARTZ	ILLITE	SERICITE	VERMICULITE
10	m f		+	+	
7	f				+
5	f		+	+	
4,47	F		+	+	
4,29	f	+	+		
3,87	f		+	+	
3,75	f			+	
3,48	f			+	
3,34	F	+	+	+	
3,20	f			+	
2,97	f			+	
2,87	f		+	+	+
2,56	F		+	+	+
2,45	f	+	+	+	
2,34	f				+
2,26	f	+	+	+	+
2,12	m			+	

Pour les mêmes raisons que précédemment, on peut admettre une évolution de la séricite vers l'illite.

Echantillon n° 4.

Le diagramme de poudre est le suivant :

d Å	I	SERICITE	ILLITE
10	f	+	+
4,45	F	+	+
4,06	f	+	+
3,84	m	+	+
3,43	m	+	
3,29	F	+	+
3,18	f	+	
2,97	f	+	
2,85	f	+	+
2,54	F	+	+
2,44	f	+	+
2,37	m	+	+
2,22	f		+
2,12	f	+	+

La disparition de la réflexion du 4^{ème} ordre sur les plans (001) et la réflexion de 3^{ème} ordre sur les mêmes plans donnant une distance réticulaire de 3,29 Å; il est raisonnable de penser que la séricite de cet échantillon évolue vers l'illite. La raie à 2,22 Å qui n'appartient qu'à l'illite semble le confirmer par ailleurs.

Echantillon n° 5.

Le diagramme de poudre comprend les raies suivantes :

d Å	I	SERICITE	ILLITE	QUARTZ
4,45	F	+	+	
4,21	m			+
3,31	F	+	+	
2,54	F	+	+	
2,45	m	+	+	+
2,37	f	+	+	
2,12	f	+	+	
1,79	f	+	+	+

Comme dans le cas précédent, en raison de la faible valeur de la distance réticulaire correspondant à la réflexion du 3^{ème} ordre sur les plans (001) on peut admettre une évolution de la séricite vers l'illite.

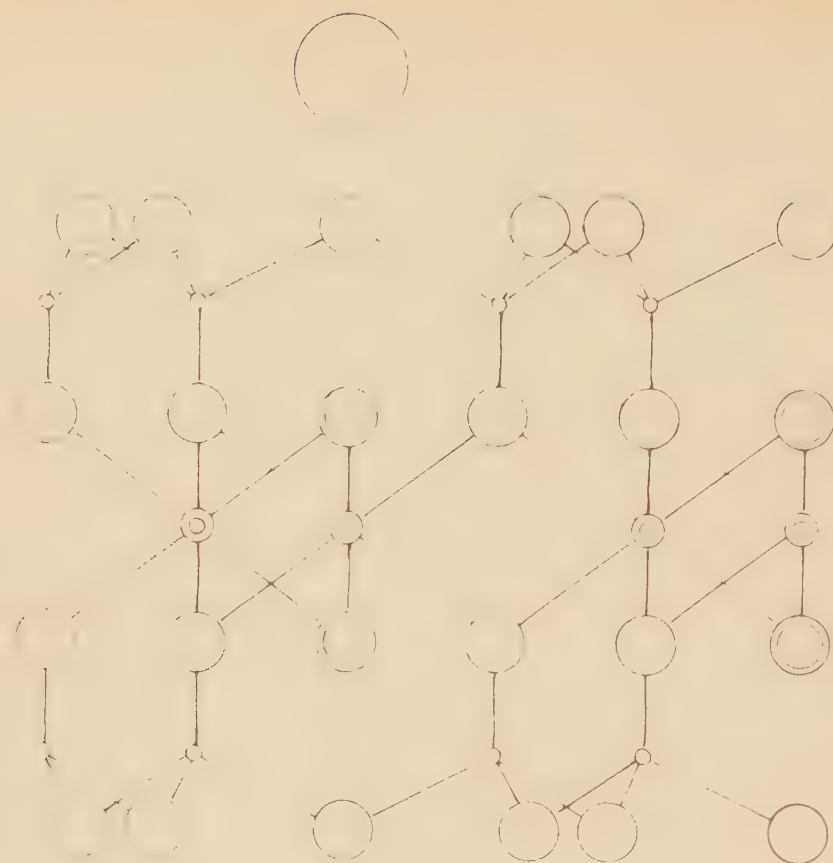
Echantillon n° 6.

Nous avons trouvé la série suivante de raies :

d Å	I	SERICITE	ILLITE	QUARTZ
4,49	F	+	+	
4,29	f		+	+
3,48	f	+	+	+
3,36	F	+	+	
3,20	m	+		
2,87	f	+	+	
2,55	m	+	+	
2,46	m	+	+	
2,39	f	+	+	
2,26	m			+
2,20	f		+	
2,12	f	+	+	

Bien que la réflexion du 3^{ème} ordre sur les plans (001) donne une distance réticulaire normale de 3,36 Å, on peut penser que l'illite est présente dans l'échantillon. En effet, la raie à 2,20 Å appartient uniquement à l'illite et la présence d'une raie de moyenne intensité à 2,46 Å serait davantage due à l'illite qu'à la séricite.

Il semble bien néanmoins que, comme son homologue, l'échantillon n° 3, l'échantillon n° 6 ait subi une évolution moins poussée que les autres échantillons.



$1K^+$

6 OH^-
3 Al^{+++} 1 Al^{+++}

4 OH^- 2 OH^-

4 Al^{+++}

4 OH^- 2 OH^-

3 Si^{+++} 1 Al^{+++}

6 O^{--}

$1K^+$

REF. 2

C - ESSAI D'INTERPRETATION DES RESULTATS.

Pour comprendre les transformations que peuvent subir les minéraux phylliteux au cours de l'altération du schiste, il nous a semblé utile de comparer leurs structures cristallographiques.

I - COMPARAISON DES STRUCTURES DE LA MUSCOVITE, DE L'ILLITE ET DE LA VERMICULITE.

Les structures de ces minéraux ont été empruntées aux ouvrages fondamentaux de BROWN (The X Ray identification and crystal structures of Clays minerals) et de Mlle CAILLIERE et M. HENIN (Minéralogie des Argiles). Nous examinons d'abord les structures de chacun d'eux et nous en déduisons ensuite les points communs et les différences fondamentales.

1° - Structure de la Muscovite.

La composition chimique de l'unité structurale de la muscovite a été déterminée par MAUGUIN. PAULING a établi la répartition en couches des éléments de la structure, répartition confirmée par les travaux de JACKSON et WEST. Récemment GATINEAU et MERING, par une analyse plus poussée, ont modifié quelques détails sans pour cela invalider le schéma général de la structure qui est celle représentée figure 2.

Le feuillet de mica muscovite est donc formé d'une couche octaédrique centrale, dans laquelle les ions Al^{3+} sont hexacoordinés, comprise entre deux couches tétraédriques, les cavités tétraédriques étant occupées par les $3/4$ des ions Si^{4+} et pour $1/4$ par des ions Al^{3+} . Le déficit de charge positive du feuillet, dû à la présence des ions Al^{3+} dans la couche tétraédrique est compensée par la localisation d'ions K^+ entre deux feuillets successifs. La présence des ions K^+ a pour conséquences de donner une certaine rigidité à l'empilement des feuillets et de maintenir l'équidistance de ces feuillets à une valeur voisine de 10 Å.

Les variétés ferri-fères de muscovite sont caractérisées par un remplacement des ions Al^{3+} de la couche octaédrique par des ions Fe^{3+} .

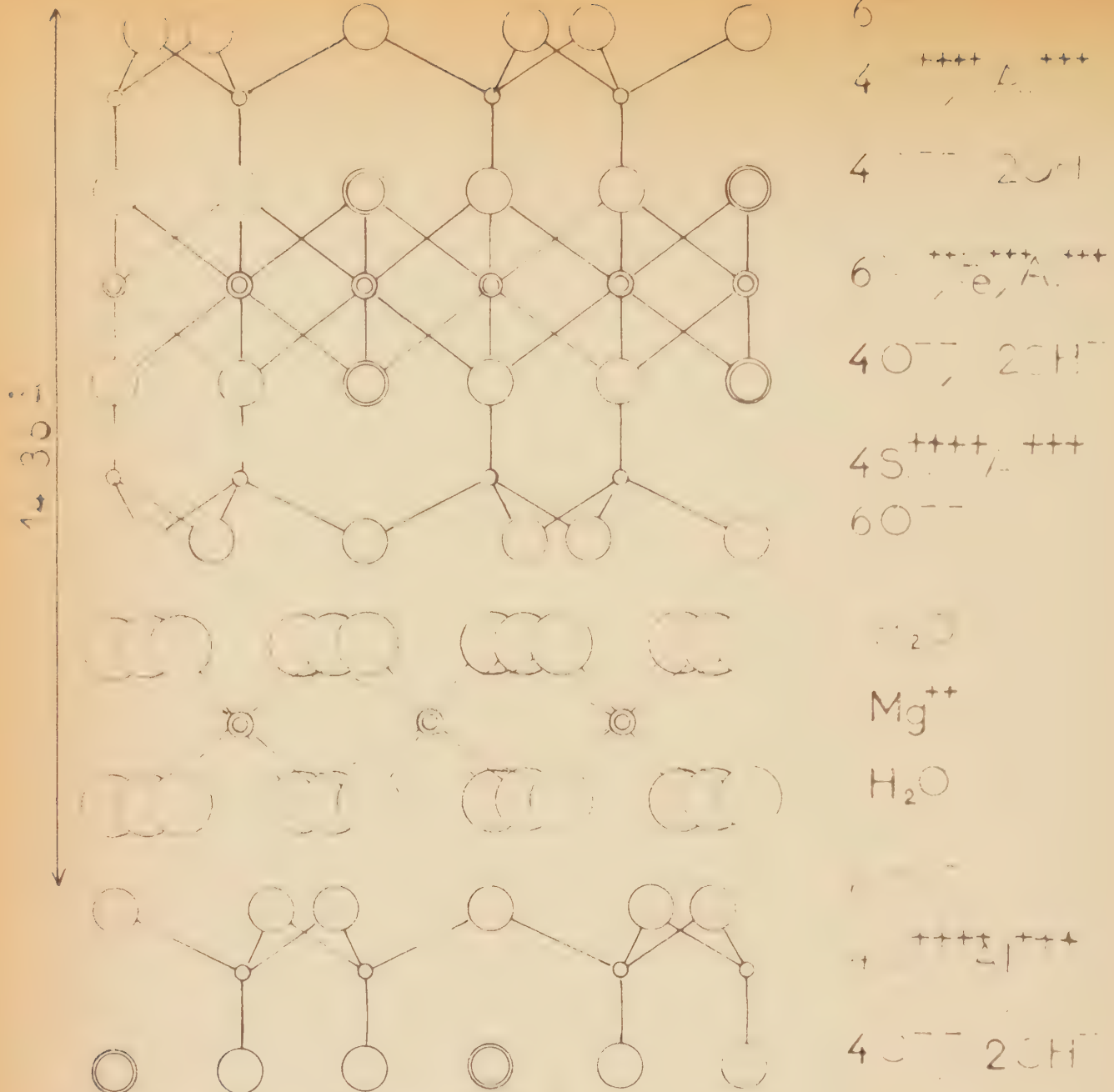


FIGURE 3

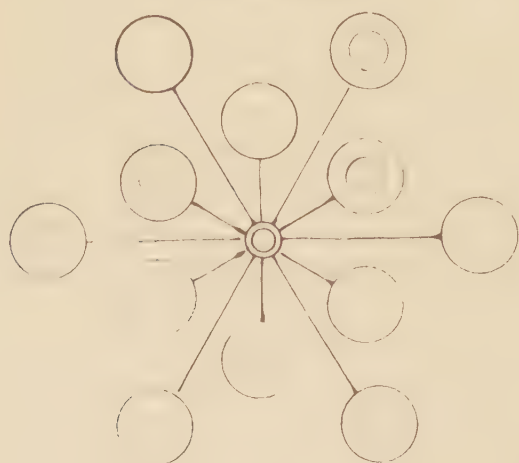


FIGURE 4

MOLECULE D'EAU
 DE LA COUCHE
 SUPERIEURE
 MOLECULE D'EAU
 DE LA COUCHE
 INFERIEURE

2° - Structure de l'illite.

La structure cristallographique de l'illite est encore assez mal connue. La taille des particules d'illite ne permettant pas d'obtenir les diagrammes de cristal tournant.

On lui attribue, actuellement encore, une structure presque identique à celle des micas. Le nombre d'ions K^+ serait beaucoup plus faible que dans la muscovite et il y aurait une augmentation de la teneur en eau de constitution.

3° - Structure de la Vermiculite.

Une étude très fine de GRUNER sur des diagrammes de poudre de vermiculite permet de montrer que les feuillets sont formés par des feuillets ressemblant à ceux du mica biotite entre lesquels se trouve une double couche de molécules d'eau. HENDRICKS et JEFFERSON utilisant la technique du cristal tournant confirmèrent ce schéma général.

Plus récemment GRUDEM(1954) établit définitivement la structure des feuillets silicatés à l'aide de la fonction de PATTERSON et MATHIESON & WALKER localisèrent les sites des molécules d'eau et des cations interlamellaires dans le cas de la vermiculite magnésienne.

C'est donc la structure de la vermiculite magnésienne qui, actuellement, est la mieux connue, que nous reproduisons sur la figure 3.

Dans le cas qui correspond à ce schéma, l'équidistance des feuillets est de $14,36 \text{ \AA}$. Entre les feuillets se trouvent des ions Mg^{++} entourés chacun de douze molécules d'eau, ces molécules se répartissant en deux couches suivant la disposition de la figure 4. Cette répartition des molécules d'eau qui est la plus courante n'est pas la seule possible.

A partir d'une vermiculite à $14,36 \text{ \AA}$, WALKER a observé un gonflement qui porte l'équidistance à $14,81 \text{ \AA}$. On compte alors seize molécules d'eau par cation Mg^{++} .

Au contraire, si l'on dessèche la vermiculite, on constate que la contraction marque un premier palier à $13,82 \text{ \AA}$, le nombre de molécules d'eau étant alors de 9 par cation. Puis, une nouvelle

contraction se produit avec un réarrangement des molécules d'eau. On arrive à une équidistance de $11,59 \text{ \AA}$, le nombre de molécules étant alors de 8 par cation.

La dessiccation complète de la vermiculite conduit à une équidistance des feuillets égale à $9,02 \text{ \AA}$.

Les ions Mg^{++} hydratés interfeuillets seraient mobiles et échangeables, n'étant maintenus que par le déficit des charges positives du feuillet silicaté, déficit dû à des substitutions d'ions métalliques de moindre valence dans les couches tétraédriques et octaédriques.

En particulier, les ions Mg^{++} sont facilement expulsés par les ions K^+ et NH_4^+ . Comme nous l'avons déjà dit, la fixation d'ions K^+ entraîne une contraction des feuillets et l'équidistance est alors de l'ordre de $10,5 \text{ \AA}$. BARSHAD a montré que lorsque la vermiculite est saturée par les ions K^+ , elle ne gonfle plus en présence d'eau, comme c'était le cas pour la vermiculite - Mg.

4° - Comparaison des trois structures.

Entre la muscovite et l'illite, les différences sont très faibles. L'illite est moins riche que la muscovite en ions K^+ , ce qui a pour effet de rendre les lamelles moins rigides, sans pour cela permettre une expansion des feuillets par hydratation, l'équidistance se maintient aux environs de $10 \text{ \AA}$.

Par contre, entre la muscovite et l'illite et la vermiculite les différences sont beaucoup plus importantes.

Il existe dans les couches tétraédriques et octaédriques de la vermiculite de nombreuses substitutions de cations que l'on ne trouve pas dans la muscovite. D'autre part, il y a entre les feuillets silicatés de la vermiculite des cations hydratés, en particulier Mg^{++} tandis que dans la muscovite et l'illite on ne trouve que des ions K^+ non hydratés.

II - LES POSSIBILITES D'EVOLUTION DE LA MUSCOVITE VERS L'ILLITE OU LA VERMICULITE.

1° - Altération de la muscovite en illite.

Les faibles différences entre l'illite et la muscovite

laisseraient penser que la transformation de muscovite en illite est extrêmement facile, simplement par lessivage des ions K^+ . Cependant, comme le font remarquer Mlle CAILLERE et M. HENIN, il semble difficile d'admettre que les ions puissent se glisser hors de la structure, le feuillet de mica restant intact. D'après ces auteurs, il faudrait que la structure du mica subisse en même temps au moins une légère transformation.

L'étude cinématique de la perte des ions K^+ a été effectuée par CHAUSSIDON et ARVIEU, non pas sur la muscovite, mais sur l'illite. Ils ont trouvé que la libération du potassium est étroitement liée à la solubilisation du silicium et que l'énergie de liaison des ions K^+ au réseau est d'une intensité analogue à celles qui assurent la cohésion du minéral. Ils en concluent que le potassium se comporte comme un ion du réseau et que la stabilité de la structure est liée à l'aptitude géométrique du potassium à pénétrer dans les cavités hexagonales de la couche tétraédrique du feuillet. D'après ces auteurs, la variabilité de stabilité d'un échantillon serait due à la distorsion des cavités hexagonales et au désordre de la structure.

2° - Altération de la muscovite en vermiculite.

JACKSON (1963) a exposé un mécanisme possible de la transformation du mica muscovite ou de l'illite en vermiculite dans les sols.

Les feuillets de mica mis en présence d'une solution riche en cations très hydratés, en particulier le magnésium céderaient les ions K^+ dans leur bordure qui seraient remplacés par les cations hydratés Mg^{++} . La substitution se propagerait de proche en proche et gagnerait ainsi tout le feuillet. Il en résulterait une expansion d'une partie des feuillets qui provoquerait des clivages et des fractures aboutissant à un mélange de feuillets non altérés et de feuillets de vermiculite plus ou moins interstratifiés.

RICH et COOK pensent que le remplacement du potassium par le magnésium hydraté n'est possible que si la charge positive des couches silicatées augmente, ce qui a pour conséquence de diminuer la force de liaison des ions K^+ avec les feuillets. L'augmentation de la charge positive serait due dans beaucoup de cas à l'oxydation des ions ferreux en ions ferriques. Dans ces conditions, la trans-

formation de la muscovite ne serait possible que si elle est, en partie au moins, ferrifère.

De toutes façons, le processus de transformation de la muscovite ou de l'illite en vermiculite n'est possible qu'en présence d'une solution concentrée en ions Mg^{++} . Dans le cadre de notre expérience, le lessivage est effectué avec de l'eau distillée et il n'y a donc pas d'apport de magnésium. La vermiculite que nous avons mis en évidence dans les résidus était simplement héritée de la "roche-mère". Elle s'est peut-être formée à partir de la muscovite dans la roche elle-même. La seule modification subie par la vermiculite est sa contraction, après absorption d'ions K^+ provenant des solutions des ballons.

III - LE MECANISME POSSIBLE DE L'ALTERATION DES SCHISTES.

Nous examinerons successivement l'évolution que l'on peut constater dans la pellicule superficielle des fragments de roche, puis celle des résidus des ballons.

1° - L'altération de la surface des fragments de schistes.

a - Comparaison des diagrammes de poudre des schistes non altérés et des schistes ayant subi un lessivage.

Les diagrammes de poudre des roches fraîches montrent que les trois échantillons de schistes ont la même composition qualitative : Quartz, Muscovite, Vermiculite.

la faiblesse des raies de la vermiculite indiquant qu'elle s'y trouve en quantité minime.

Les diagrammes de poudre des échantillons altérés sont un peu différents. Ils font apparaître à côté des trois minéraux précédents l'illite, la vermiculite se trouvant toujours en faible quantité.

Il ne semble donc pas qu'il y ait eu évolution des minéraux vers la formation de vermiculite, cette dernière restant en quantité constante, on peut même diminuer, puisque, dans le cas des échantillons lessivés par l'eau contenant du gaz carbonique, on ne trouve pas sur les diagrammes des raies bien caractéristiques de la vermiculite.

On peut donc admettre qu'une partie de la muscovite s'est

transformée en illite. La perte en ions K^+ des feuillets de muscovite doit pouvoir nous renseigner sur l'ampleur de la transformation.

b - Pertes de potassium par les feuillets de muscovite.

Si l'on compare les pertes en potassium subies par les différents schistes, en particulier, les pertes par lessivage à l'eau pure et celles par entraînement à l'eau chargée de gaz carbonique, on constate qu'elles sont sensiblement équivalentes dans les deux cas comme le montre le tableau ci-dessous.

	SCHISTE DES CEVENNES	SCHISTE DE L'AGLY	SCHISTE DE LAMALOU
Sans CO_2	78 mg	90 mg	208 mg
Avec CO_2	106 mg	81 mg	190 mg

Les faibles quantités de gaz carbonique n'ont donc pas d'influence sur l'élimination du potassium et nous pouvons, sans trop grand risque d'erreur, faire la moyenne des résultats pour estimer les pertes en potassium.

Schiste des CEVENNES 92 mg
 Schiste de l'AGLY 85 mg
 Schiste de LAMALOU 200 mg.

Ces pertes de potassium proviennent de la pellicule superficielle des fragments de roche et des débris accumulés dans les ballons.

En admettant, pour la pellicule superficielle, une épaisseur de 10 microns, équivalente à celle des débris micacés dans les ballons et en prenant pour valeurs de la surface spécifique, du pourcentage de mica, les chiffres cités plus haut, on arrive, en adoptant comme densité du mica la valeur 3, à des poids de pellicules superficielles pour des échantillons de 1 kg qui sont :

Schiste des CEVENNES 3,2 g
 Schiste de l'AGLY 2,2 g
 Schiste de LAMALOU 3,3 g

Les pertes de potassium peuvent donc être rapportées aux poids suivants de mica (somme du poids de la pellicule superficielle et des débris des ballons).

Schiste des CEVENNES	3,9 g
Schiste de l'AGLY	3,3 g
Schiste de LAMALOU	4,7 g

D'où perte par gramme de mica :

Schiste des CEVENNES	23,5 mg/g
Schiste de l'AGLY	25,5 mg/g
Schiste de LAMALOU	42,5 mg/g

Si l'on considère que la muscovite non altérée contient 100 mg de potassium par gramme de minéral, on en déduit que les fauillets altérés ont perdu de 25 à 40 % du potassium qu'ils contenaient initialement.

c - Schéma possible de l'altération du mica.

L'observation au microscope des débris de la couche superficielle des schistes altérés et des résidus des ballons montre une division des lamelles de mica en éléments plus fins. Partant de cristaux dont la taille varie de 50 à 80 microns, on arrive à des microcristaux dont les dimensions n'excèdent pas quelques microns.

La fracturation des lamelles de mica a lieu sur les bordures et se propage suivant les clivages et les fractures.

Simultanément on constate une perte de potassium, les ions K^+ s'échappant des bordures des microcristaux. Le potassium des bordures n'est pas le seul à être entraîné par le lessivage, l'évolution vers l'illite nécessitant le départ d'une fraction importante des ions K^+ de liaison des feuillets.

Nous avons vu que 25 à 40 % du potassium initial du mica avait été entraîné par lessivage. Nous allons essayer d'évaluer quelle est la proportion du potassium initial qui se trouverait à la surface des microcristaux après une subdivision que ferait passer un cristal de muscovite d'une taille moyenne de 100 microns à des particules d'une dimensions moyenne de 5 microns, ce qui correspond à peu près à la fragmentation observée.

Un calcul très approximatif montre que dans un cristal de muscovite de 100 microns, il n'y a que $1/50.000$ des ions K^+ qui se trouvent près de faces. En fractionnant le cristallin en 20 parties dans les trois dimensions, la surface du cristal primitif est multipliée par 10.000 environ, ce qui amène en surface 20 % environ des ions K^+ du cristal primitif.

La perte des schistes en potassium étant supérieure à ce dernier chiffre, on peut admettre que le lessivage a affecté non seulement les ions K^+ de bordure, mais aussi une partie des ions internes ces derniers ayant peut-être pu cheminer vers les bords par un mécanisme de diffusion à l'état solide. De toutes façons, il semble bien que le lessivage ions K^+ soit la conséquence de la fragmentation et non la cause.

L'action de l'eau sur la surface des fragments de roche provoquerait donc les phénomènes suivants :

- Humidification de la couche superficielle, facilitée par la structure litée des schistes. Les molécules d'eau pénétrant dans toutes les cavités disponibles, soumises aux variations de températures pendant les cycles du lessivage, présentent des variations périodiques de volume qui finissent par faire éclater la croûte superficielle.

- Mise en solution des ions potassium, par les eaux de lessivage. L'eau légèrement basique peut aussi solubiliser une certaine quantité de silice provenant, soit des grains de quartz de la roche, soit du verre des extracteurs, soit même des couches siliciques des feuillets de mica.

- Entraînement enfin des particules, provenant de la microdivision de la roche par les eaux de lessivage.

2° - Altération des résidus entraînés dans les ballons.

On note dans les ballons une accumulation de grains de quartz de particules de muscovite d'illite, de vermiculite, le tout baignant dans une solution ionique contenant en particulier des ions potassium.

L'observation de ces résidus au microscope montre des grains de quartz de taille comparables à ceux de la "roche-mère" recouverts et

entourés de fines particules.

Les diagrammes de poudre montrent que ces particules sont formées par la vermiculite à feuillets contractés, par de la séricite et par de l'illite.

Le milieu ambiant, très riche en ions potassium, a peut-être pu arrêter l'évolution commencée sur la roche par le lessivage. En effet, les particules des ballons sont soumises à une ébullition constante en solution potassique et il en résulte peut-être :

- dans le cas de l'illite, une certaine réabsorption du potassium par les feuillets,

- dans le cas de la vermiculite, un échange des ions Mg^{++} interfeuillets par des ions K^+ .

Le deuxième fait est nettement confirmé par les diagrammes de poudre qui montrent une contraction des feuillets de la vermiculite.

Le premier fait est moins net, mais il semble tout de même réel, en effet, nous avons constaté que les diagrammes de poudre de l'altération superficielle des fragments de schiste donnaient des équidistances correspondant aux réflexions du 3^{ème} ordre sur les plans (001), inférieures à 3,33 Å, tandis que les débris des ballons avaient des équidistances normales. Les pertes de potassium des résidus des ballons seraient par conséquent moins importantes que sur la pellicule superficielle des schistes.

2° - Schéma général du mécanisme d'altération des schistes.

Les différences d'altération constatées entre les trois échantillons de schistes sériciteux ne sont pas importantes. La comparaison des poids de résidus semble montrer que la désagrégation est d'autant plus intense que les schistes ont une texture plus grossière et sont moins riches en quartz.

D'autre part, l'action du gaz carbonique n'est pas très nette. Sa présence ne semble pas augmenter la vitesse d'altération chimique, mais il empêche peut-être la réabsorption du potassium par les feuillets par formation de carbonates. La présence de rhomboédres de carbonates dans certains résidus de lessivage par l'eau chargée de gaz carbonique indiquerait un mécanisme de ce genre.

En résumé, l'altération des schistes se ferait d'après le processus suivant :

a - Une désagrégation de la roche, au cours de laquelle la séricite est divisée en éléments fins et entraînée. Le départ de la séricite libère les grains de quartz qui sont entraînés à leur tour.

La désagrégation est certainement plus intense dans la nature. car le principal facteur de désagrégation qui est le gel n'est pas intervenu au cours de notre expérience.

b - Une solubilisation et un entraînement des cations métalliques surtout les alcalins et alcalino-terreux. La muscovite perd alors une proportion importante de son potassium et se transforme en illite.

c - Un dépôt des produits d'altération dans un milieu de richesse variable en cations et en ions carboniques. On observera alors :

- une poursuite de l'altération si le milieu est dilué,
- un arrêt de l'évolution si le milieu est riche en cations métalliques et anions carboniques, les produits altérés étant stabilisés.

D - APPLICATION DES RESULTATS PRECEDENTS A L'AGRONOMIE.

Nous avons vu qu'au cours de la transformation de la séricite en illite, il y a une libération assez importante de potassium. Ce phénomène a été mis en évidence depuis longtemps déjà. JACKSON (1953) cite dans sa mise au point les travaux de ROUSE et BERTRAMSON qui ont trouvé une corrélation entre le pourcentage en mica et la réserve en potassium de certains sols des U.S.A. et analysé les possibilités de nutrition des plantes à l'aide du potassium lentement libéré par l'altération du mica.

Ayant mesuré l'ampleur du lessivage du potassium contenu dans la muscovite pendant notre expérience d'altération, il a nous a paru intéressant d'essayer de calculer à partir de nos mesures, la quantité de potassium qui serait libérée dans des conditions identiques par un sol schisteux de 50 cm d'épaisseur en voie d'altération lente.

Nos données portant sur 1 kg de fragments de roches par 1 m³ d'eau, nous allons tout d'abord évaluer l'équivalent en années de pluies de ce lessivage.

La section d'un tube extracteur de Soxhlet ayant une surface de 69 cm², 1 m³ représente une hauteur d'eau de 14.000 cm. En supposant une hauteur de pluies moyenne annuelle de 70 cm (moyenne de la France), on voit que le lessivage correspond à 200 ans de pluie.

Le lessivage par 1 m³ d'eau a enlevé dans les trois échantillons de schiste 100 à 200 mg de potassium par kg de fragments, soit exprimés en K₂O, comme le font les agronomes, 250 à 500 mg de K₂O par kg.

En une année de pluie, la perte serait donc de 1,25 à 2,50 mg de K₂O par kg de roche.

Un kilogramme de schiste représentant une colonne de 69 cm² de section et de 15 cm de hauteur, un hectare de sol de 45 cm d'épaisseur contient $4,2 \cdot 10^7$ colonnes ou encore 42.000 tonnes de schiste.

La perte annuelle de ces 42.000 tonnes de schiste en potasse varie de :

- $1,25 \cdot 4,2 \times 10^7$ mg

à

- $2,50 \cdot 4,2 \times 10^7$ mg

soit environ de 50 à 100 kg.

Les besoins en potasse des plantes cultivées sont très variables. BARBIER, dans la "REVUE DE LA POTASSE" a avancé les chiffres suivants susceptibles d'être révisés :

Blé	180 kg	K ₂ O / ha
Orge	160 kg	K ₂ O / ha
Avoine	180 kg	K ₂ O / ha
Maïs	200 kg	K ₂ O / ha
Pommes de terre	300 kg	K ₂ O / ha
Betterave	300 kg	K ₂ O / ha
Luzerne	225 kg	K ₂ O / ha

Ces chiffres nous donnent un ordre de grandeur des besoins des plantes en potasse. On voit que ces besoins varient de 100 à 300 kg de potasse par ha et par an.

En comparant la quantité de potasse libérée à celle nécessaire à la nutrition des plantes cultivées, il apparaît que l'altération des schistes est insuffisante pour couvrir les besoins des récoltes normales.

Il faut cependant tenir compte du fait que les racines des plantes absorbent non seulement le potassium dans la solution du sol mais aussi par contact direct avec les minéraux et échange entre les ions H^+ fournis par les racines et les ions K^+ provenant du mica. Par ce mécanisme, la présence de racines végétales contribue, d'ailleurs, à augmenter l'altération des minéraux.

Il est donc probable que les plantes les moins exigeantes peuvent trouver, dans la décomposition des schistes, la quantité de potasse nécessaire à un rendement moyen, les rendements élevés ne pouvant être obtenus que par un apport d'engrais potassiques.

CONCLUSION.

Il semble tentant de comparer les résultats de l'altération au laboratoire et les produits de l'altération naturelle que l'on trouve dans les sols surmontant les schistes, si les deux séries d'observation peuvent être considérées comme comparables.

En effet, au laboratoire, le lessivage des schistes a été réalisé par de l'eau distillée à une température moyenne de 70° C, alors que dans la région où les échantillons ont été prélevés, la température de l'eau de pluie ne dépasse guère 15° C. La différence de température est encore plus sensible, si l'on considère les résidus des ballons qui sont constamment dans un milieu à 100° C. Cependant, on peut admettre, sans de trop grands risques d'erreur, que la température plus élevée au laboratoire n'a fait qu'augmenter la constante de vitesse des réactions chimiques. Donc, en considérant avec prudence les observations effectuées sur les résidus des ballons on pourra, dans une certaine mesure, comparer les produits finaux d'altération obtenus au laboratoire et ceux déterminés dans les échantillons de sol.

L'analyse granulométrique des sols prélevés sur schiste a donné les résultats moyens suivants :

- 60 % de grains d'une taille supérieure à 20 microns donc essentiellement formée de grains de quartz,
- 25 % de limon d'une taille comprise entre 20 et 2 microns et que l'on peut considérer comme un mélange de quartz très fin et de paillettes de mica,
- 15 % de particules fines, essentiellement de l'argile.

La fraction fine argileuse analysée aux rayons X est constituée essentiellement d'illite accompagnée d'un peu de vermiculite. Le diagramme présente, en outre, une raie correspondant à une équidistance de 21 Å et que l'on peut considérer d'après BROWN, comme caractéristique d'un interstratifié, Illite-Vermiculite, la vermiculite ayant, dans ce cas, une distance réticulaire de 11 Å environ, ses feuillets étant contractés.

Au laboratoire, l'altération donne un mélange de séricite, d'illite et de vermiculite, c'est-à-dire un ensemble de composition voisine des sols reposant sur les schistes. La seule différence importante est le fait que nous n'avons pas mis en évidence au laboratoire la formation d'un interstratifié illite-vermiculite qui serait d'après CAMEZ, l'un des édifice argileux les plus courants dans les sols de France. D'ailleurs, cet auteur conclut son étude sur les argiles des sols des régions tempérées en disant que la vermiculite semble être le produit final de l'altération des minéraux micacés en climat tempéré.

Si, dans nos expériences de laboratoire, nous n'avons obtenu qu'une évolution de la muscovite vers l'illite, c'est sans doute, parce que le lessivage des fragments de roche était réalisé avec de l'eau pure. Le mécanisme d'obtention de la vermiculite exige l'intervention d'électrolyte comme le chlorure de magnésium que l'on trouve dans les solutions du sol.

Cependant, cette expérience d'altération nous aura tout de même permis de suivre la transformation de la muscovite en illite et de nous rendre compte de l'importance de la libération du potassium au cours de ce processus. C'est peut-être les résultats correspondant à ce dernier phénomène qui sont les plus importants du point de vue pratique car, ils permettent d'avoir un ordre de grandeur de la richesse en potasse d'un sol formé sur des schistes et présentant ainsi un intérêt certain pour l'agronome.

BIBLIOGRAPHIE.

=====

- BARSHAD - The effect of interlayer cations on the expansion of the mica type of crystal structure.
Am. Miner. 1950 - Vol. 35 - p. 225
- BARSHAD I - Cation exchange in micaceous minerals.
I - Soil Science 1954 - Vol. 77 - p. 463
II - Soil Science 1954 - Vol. 78 - p. 57
- BROWN G. - X - ray identification and crystal structures of clay minerals.
Mineralogical Society - London 1961
- CAILLERE S. - HENIN S. Transformation expérimentale du mica en divers types de minéraux argileux par séparation des feuillets.
GUENNELON - C.R. Acad. Sc. 1949 - Vol. 228 - p. 1741
- CAILLERE S. - HENIN S. Minéralogie des argiles.
Masson 1963
- CAMEZ T. - Etudes sur l'évolution des minéraux argileux dans les sols des régions tempérées.
Mém. Serv. Cart. Géol. Als. Lor. 1962 - n° 20
- CASTERAS M. - Recherches sur la structure du versant nord des Pyrénées Centrales et Orientales.
Bull. Serv. Cart. Géol. Fr. - n° 189 - t. 37, 1933
- CAVET P. - Le paléozoïque de la zone axiale des Pyrénées Orientales Françaises.
Bull. Serv. Cart. Géol. Fr. 1959 - n° 254
- CHAUSSIDON J et ARVIEU J A. - Etude de la solubilisation acide d'une illite. Extraction du potassium et évolution du résidu.
VIIIè Cong. Intern. Sc. Sol 1964 - Vol. 7 - p. 113
- COOK MG. - RICH CI. - Negative charge of dioctahedral micas as related to weathering.
Clays and clay minerals 1963 - Vol. 13 - p. 47
- CORRENS - Einführung in die Mineralogie.
Springer - Verlag, BERLIN 1949

- CORRENS - The experimental chemical weathering of silicates.
Clay mineral. Bull. G.B. - Vol. 4 - n° 26 - p. 246
- DEKEYSER W.-Van KEYMEULEN J.- L'altération et l'évolution des minéraux mi-
HOEBEKE F. et Van RYSSSEN A. - cacés et argileux.
I.R.S.I.A. 1955 - C.R. 14 - p. 91
- DEMUMBRUM LE. Exchangeable potassium levels in vermiculite and po-
tassium depleted. micas and implications relative to
potassium levels in soils.
Soil Sc. Soc. Ann. Proc. 1959 - Vol. 23 - p. 192
- GARRELS RM. - HOWARD P - Reactions of feldspar and mica with water at low
temperature and pressure.
Clays and clay minerals 1959 - Vol. 2 - p. 68
- GATINEAU L. et MERING J. - Refinements of the structure of muscovite.
Clay mineral. bull. 1958- Vol. 3 - p. 238
- GEZE B. - Etude géologique de la montagne noire et des céven-
nes méridionales.
Mémoires de la Société Géologique de France.
mémoire n° 62 - 1949
- GRIM RE. - Clay mineralogy.
Mc Graw Hill Book - 1953
- GRUDEM A. - Structure of vermiculite
Handl. Svensk Forskn. Inst. 1954 - n° 22
- GRUNER JW. Structure of vermiculites and their collapse by
dehydration.
Amer. Min. 1934 - Vol. 19 - p. 557
- HENDRICKS SB. - et Structure of vermiculites and mixed vermiculite -
JEFFERSON ME. - chlorites.
Amer. Min. - Vol. 23 - p. 852
- HENIN S. - ROBICHET - Altération expérimentale d'un schiste, comparaison
Du ROUCHET - avec un granite.
C.R. acad. sc. 1953 - Vol. 237 - p. 1437
- JACKSON ML. - et Chemical weathering of minerals in soils.
SHERMAN GD. - Adv. in Agron. 1953 - Vol. V - p. 221
- JACKSON ML. - Interlayering of expansible layer silicates in soils
by chemical weathering.
Clays and clay minerals 1963 - Vol. 13 - p. 29

- JOHNSTONE - On the action of pure water and of water saturated with carbonic acid gas on the minerals of the mica family.
Quart. Tourn. Géol. Sc. 1889 - Vol. 45 - p. 363
- JUDY WEINTRAUB - Alteration of micaceous minerals by sulfide solutions.
SAND LG. - Clays and clay minerals 1959 - Vol. 2 - p. 369
- KRANSKOPF KB. - Dissolution and precipitation of silica at low temperatures.
Geochim. Cosmochim. Acta 1956 - Vol. 10 - p. L
- LUCAS J. - CAMEZ T. - Détermination aux rayons X des minéraux argileux
MILLOT G. - simples et interstratifiés.
Bull. Serv. Cart. Géol. Als. Lor. 1959 - t. 12, Fasc. 2
- LAFOND R. - Etude minéralogique des argiles actuelles du bassin de la Vilaine.
C.R. Acad. Sc. Fr. 1961 - Vol. 252 - p. 3614
- MARGARET D. FOSTER - Interpretation of the composition of vermiculites and hydrobiotites.
Clays and clay minerals 1963 - Vol. 10 - p. 70
- MATHIESON A. McI et Structure of Mg. vermiculite.
WALKER GF. - Amer. Min. L1954 - Vol. 39 - p. 231
- MAUGUIN Ch. - Etude des micas au moyen des rayons X
Bull. Soc. Fr. Min. Crist. 1928 - Vol. 51 - p. 285
- MILLOT G. - Géologie des Argiles.
Masson 1963
- NICOLAS J. - Sur l'altération de certains schistes dans la région de Faholeau (C. du N.)
Bull. Gr. Fr. Argiles 1957, t. IX - p. 17
- NICOLAS J. - Sur la formation d'un gisement d'argile aux dépens des phyllades et quartzophyllades coblenciens au voisinage de Saint-MAYEUX , (C. du N.) .
Bull. Gr. Fr. Argiles - 1958 - t. TX - p. 15
- PAULING L. - The structure of the micas and related minerals.
Proc. Nat. Acad. Sc. 1930 - Vol. 16 - p. 123
- PEDRO G. - Etude par voie expérimentale du processus de formation d'éléments fins par altération des roches à l'aide d'eau pure.
Bull. Gr. Fr. Argiles - 1958 - Vol. 10 - p. 45

- RICH CI. et COOK MG. - Formation of dioctahedral vermiculite in Virginia soils.
Clays and clay minerals 1963 - vol. 10 - p. 96
- ROLFE B.N. - JEFFRIES CD.- Mica weathering in three soils in Central New-York U.S.A.
Clay min. Bull. 1953 - Vol. 2 - p. 85
- ROUBAULT M. - Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant.
Ed. Lamarre-Poinat - Paris 1963
- SAND LB. - On the genesis of residual kaolins.
Am. Min. 1956 - Vol. 41 - p. 28
- SIFFERT BI. - Quelques réactions de la silice en solution. La formation des argiles.
Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lor. 1962 - n° 21
- WALKER GF. - et MILNE AA. - Hydration of vermiculite. 1950
Trans. Fourth. Inter. Cong. Soil Sc./- Vol. 2- p. 62
- WALKER GF. - The mechanism of dehydration of Mg - vermiculite.
Clays and clay minerals. 1956 - Pub. 456 - p. 101
- WEAVER CE.- Possible use of clay mineral in the search for oil.
Clays and clay minerals 1958 - p. 214
- WEAVER CE. - Potassium fixation by expandable clay minerals.
Amer. Min. 1958 - Vol. 43 - p. 839
- WHITE Joe L.- Layer and interlamellar expansion in a muscovite.
Clays and clay minerals 1958 - Pub. 566 - p. 289

TABLE DES MATIERES

=====

Pages

<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>A - DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL</u>	4
I - LES ECHANTILLONS DE SCHISTE	4
1° - Déterminations microscopiques	5
2° - Diagrammes de poudre	6
II - LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL	10
<u>B - LES RESULTATS DES DETERMINATIONS ET DES OBSERVATIONS.</u>	
I - ANALYSE DU LIQUIDE DES BALLONS	12
1° - Quantités de potassium lessivé	12
2° - Quantités de silice mise en solution	13
II - OBSERVATION DES RESIDUS SOLIDES DES BALLONS	13
1° - Poids des résidus	13
2° - Examen des débris au microscope	14
3° - Diagrammes de poudre des résidus des ballons	16
III - OBSERVATION DE LA PELLICULE SUPERFICIELLE DES MORCEAUX DE SCHISTE DES EXTRACTEURS	22
1° - Mesure de la surface spécifique des échantillons ..	22
2° - Examen de la pellicule superficielle au microscope polarisant	23
3° - Diagrammes de poudre	23
<u>C - ESSAI D'INTERPRETATION DES RESULTATS</u>	29
I - COMPARAISON DES STRUCTURES DE LA MUSCOVITE, DE L'ILLITE ET DE LA VERMICULITE	29
1° - Structure de la muscovite	29
2° - Structure de l'illite	30

	Pages
3° - Structure de la vermiculite	30
4° - Comparaison des trois structures	31
II - LES POSSIBILITES D'EVOLUTION DE LA MUSCOVITE VERS L'ILLITE OU LA VERMICULITE	31
1° - Altération de la muscovite en illite	31
2° - Altération de la muscovite en vermiculite	31
III - LE MECANISME POSSIBLE DE L'ALTERATION DES SCHISTES	33
1° - L'altération à la surface des fragments de schiste ..	33
a - Comparaison des diagrammes de poudre de schistes non altérés et de ceux ayant subi un lessivage .	33
b - Pertes de potassium par les feuillets de muscovi- te	34
c - Schéma possible de l'altération du mica	35
2° - Altération des résidus entraînés dans les ballons. ..	36
3° - Schéma général du mécanisme d'altération des schistes	37
D - <u>APPLICATION DES RESULTATS PRECEDENTS A L'AGRONOMIE</u>	39
<u>CONCLUSION</u>	41
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	43

DEUXIEME THESE

=====

PROPOSITIONS DONNEES PAR LA FACULTE

VU et permis d'imprimer

MONTPELLIER, Le

Le Recteur de l'Académie
de MONTPELLIER,

VU et approuvé

MONTPELLIER, Le

Le Doyen de la Faculté
des Sciences,

B. CHARLES

